

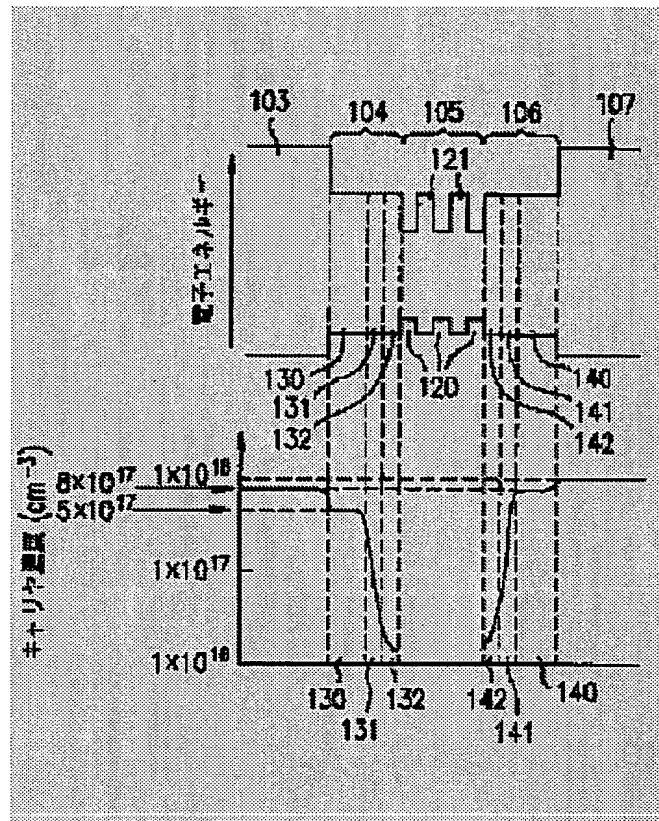
# SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT AND FABRICATION THEREOF

Patent number: JP11274644  
Publication date: 1999-10-08  
Inventor: TATSUMI MASAKI; MATSUMOTO AKIHIRO  
Applicant: SHARP CORP  
Classification:  
- international: H01S3/18; H01L33/00  
- european:  
Application number: JP19980070859 19980319  
Priority number(s):

## Abstract of JP11274644

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To lower the working voltage while preventing deterioration of characteristics by providing at least one clad layer with a lean impurity region and an impurity added layer and arranging the lean impurity region on the side close to an active layer.

**SOLUTION:** A multiple quantum well active layer 105 comprises three AlGaAs quantum well active layers 120 and two AlGaAs quantum barrier layers (barrier layers) 121 being grown such that the barrier layer 121 is sandwiched by the quantum well active layers 120. A first optical guide layer 104 is formed by growing an impurity added layer and an impurity unadded layer from the n-type first clad layer 103 side. A second optical guide layer 106 is formed by growing an impurity unadded layer and an impurity added layer from the active layer 105 side. This structure can reduce working voltage, working current and element resistance.



Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - Worldwide

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平 1 1 - 2 7 4 6 4 4

(43)公開日 平成11年(1999)10月8日

(51)Int. Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数 1 7 O L

(全 1 3 頁)

(21)出願番号 特願平10-70859

(22)出願日 平成10年(1998)3月19日

(71)出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72)発明者 辰巳 正毅

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

(72)発明者 松本 晃広

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

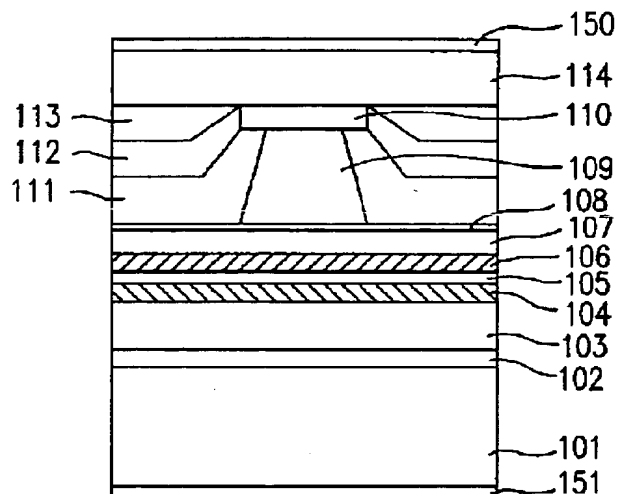
(74)代理人 弁理士 山本 秀策

(54)【発明の名称】 半導体発光素子及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】 半導体発光素子の動作電圧を低減し、特性劣化を防ぐ。

【解決手段】 光ガイド層104、106が、活性層105に近い側から不純物希少領域132、142と不純物中間濃度領域131、141と不純物添加領域130、140とを有する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 活性層と、該活性層の上下に設けられたクラッド層とを有する半導体発光素子において、少なくとも一方のクラッド層が、不純物希少領域と不純物添加領域とを有し、該不純物希少領域が該活性層に近い側に配されている半導体発光素子。

【請求項 2】 活性層と、該活性層の上下に設けられた光ガイド層とを有する半導体発光素子において、少なくとも一方の光ガイド層が、不純物希少領域と不純物添加領域とを有し、該不純物希少領域が該活性層に近い側に配されている半導体発光素子。

【請求項 3】 活性層と、該活性層の上下一方に設けられた光ガイド層とを有する半導体発光素子において、該光ガイド層が、不純物希少領域と不純物添加領域とを有し、該不純物希少領域が該活性層に近い側に配されている半導体発光素子。

【請求項 4】 前記不純物希少領域と前記不純物添加領域との間に不純物中間濃度領域を有する請求項 1 乃至請求項 3 のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項 5】 前記活性層が量子井戸層からなる請求項 1 乃至請求項 4 のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項 6】 前記光ガイド層の前記不純物添加領域における不純物が p 型であり、該不純物のキャリア濃度が  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以上  $1.2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以下である請求項 2 乃至請求項 5 のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項 7】 前記光ガイド層の前記不純物添加領域における不純物が n 型であり、該不純物のキャリア濃度が  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以上  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以下である請求項 2 乃至請求項 5 のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項 8】 前記不純物希少領域における不純物濃度が前記不純物添加領域における不純物濃度の  $1/5$  以下である請求項 1 乃至請求項 7 のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項 9】 前記不純物希少領域の厚みが  $3 \text{ nm}$  以上  $10 \text{ nm}$  以下である請求項 1 乃至請求項 8 のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項 10】 前記不純物希少領域が、少なくとも p 型クラッド層又は p 型光ガイド層に設けられている請求項 1 乃至請求項 9 のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項 11】 前記不純物希少領域のうち、p 型クラッド層又は p 型光ガイド層に設けたものの厚みが、n 型クラッド層又は n 型光ガイド層に設けたものの厚みよりも厚くされている請求項 1 乃至請求項 10 のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項 12】 前記不純物中間濃度領域の厚みが  $3 \text{ nm}$  以上  $10 \text{ nm}$  以下である請求項 4 乃至請求項 11 のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項 13】 前記活性層が複数の量子井戸層と該複数の量子井戸層で挟まれたバリア層とからなる多重量子

井戸層で構成され、前記不純物希少領域と前記不純物添加領域とを有する前記光ガイド層における少なくとも不純物添加領域の禁制帯幅が、該バリア層の禁制帯幅よりも小さく、かつ、該量子井戸層の禁制帯幅よりも大きくされている請求項 5 に記載の半導体発光素子。

【請求項 14】 前記光ガイド層において、前記不純物添加領域の禁制帯幅が前記不純物希少領域の禁制帯幅よりも小さくされている請求項 13 に記載の半導体発光素子。

【請求項 15】 前記クラッド層又は前記光ガイド層が  $\text{AlGaAs}$  系材料、 $\text{AlGaInP}$  系材料又は  $\text{InGaN}$  系材料からなる請求項 1 乃至請求項 14 のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項 16】 請求項 4 に記載の半導体発光素子を製造する方法であって、不純物添加層及び不純物無添加層を成長させ、結晶成長中の熱履歴により該不純物添加層から不純物無添加層へ不純物を拡散させて前記不純物中間濃度領域を形成する半導体発光素子の製造方法。

【請求項 17】 前記不純物無添加層のうち、p 型クラッド層又は p 型光ガイド層形成部に設けたものの厚みを、n 型クラッド層又は n 型光ガイド層形成部に設けたものの厚みよりも厚くする請求項 16 に記載の半導体発光素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体レーザ素子や発光ダイオード素子等の半導体発光素子及びその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来の半導体レーザ素子として、発光部である活性層に量子井戸層を用いた量子井戸型レーザが知られている。この量子井戸型レーザは、動作電流を低減することができ、しかも雑音特性を改善することができる等、様々な利点を有する。

【0003】量子井戸型レーザにおいて、活性層への光の閉じこめを増大させることができる構造としては、分離型閉じこめ構造 (SCH: Separate Confinement Heterostructure) がある。

【0004】ところで、化合物半導体層の禁制帯幅と屈折率とは一般に反比例の関係にあり、また、Al を含む化合物半導体層の Al 混晶比と禁制帯幅とは一般に比例関係にある。

【0005】従って、SCH 構造の量子井戸型レーザにおける活性層近傍のバンドダイアグラムは、例えば図 1 に示すようなものになる。

【0006】この半導体レーザ素子は、複数の量子井戸層 510 とバリア層 511 とからなる多重量子井戸 (MQW: Multi Quantum Well) 活性層 50

1の両外側を挟んで量子井戸層510よりも禁制帯幅の大きい第1光ガイド層502及び第2光ガイド層503が設けられている。そして、その両外側を挟んで第1光ガイド層502及び第2光ガイド層503よりも禁制帯幅の大きいn-第1クラッド層504及びp-第2クラッド層505が設けられている。

【0007】この半導体レーザ素子において、キャリアの閉じ込めは量子井戸層510で行われ、光の閉じ込めは第1光ガイド層502及び第2光ガイド層503で行われる。

【0008】このようなSCH構造の半導体レーザ素子は、例えば特公平4-67354号公報及び特開平6-252508号公報等に開示されている。

【0009】このうち、特公平4-67354号公報の半導体レーザ素子では光ガイド層の全域に不純物が添加されており、特開平6-252508号公報の半導体レーザ素子では光ガイド層の全域に不純物が添加されていない。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】上述のSCH構造においては、光ガイド層の層厚を厚くすることにより光の閉じ込め効率が向上し、低閾値電流を得ることができる。よって、電流低減を図るためには光ガイド層の層厚を厚くすることが望ましい。

【0011】しかしながら、特開平6-252508号公報の半導体レーザ素子のように光ガイド層に不純物が添加されていない場合には、光ガイド層の層抵抗が大きくなり、さらに、クラッド層と光ガイド層との間に電位障壁が生じるので動作電圧が増大するという問題がある。

【0012】これに対して、特公平4-67354号公報の半導体レーザ素子のように光ガイド層に不純物が添加されている場合には、通電中に光ガイド層から活性層へ不純物が拡散して活性層中に非発光再結合中心が形成されるので内部吸収ロスが生じてしまい、レーザ特性が劣化するという問題がある。

【0013】さらに、従来においては、光ガイド層を含めて活性層に隣接する半導体層への不純物添加がレーザ特性に及ぼす影響については、詳細な検討が殆どなされていない。

【0014】これらのことは量子井戸型レーザ素子以外の半導体レーザ素子でも同様であり、さらに、活性層の上下両側にクラッド層を設けた発光ダイオード素子についても同様のことが言える。

【0015】本発明はこのような従来技術の課題を解決すべくなされたものであり、動作電圧を低減できると共に特性劣化を防ぐことができる半導体発光素子及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体発光素子

は、活性層と、該活性層の上下に設けられたクラッド層とを有する半導体発光素子において、少なくとも一方のクラッド層が、不純物希少領域と不純物添加領域とを有し、該不純物希少領域が該活性層に近い側に配されており、そのことにより上記目的が達成される。

【0017】本発明の半導体発光素子は、活性層と、該活性層の上下に設けられた光ガイド層とを有する半導体発光素子において、少なくとも一方の光ガイド層が、不純物希少領域と不純物添加領域とを有し、該不純物希少領域が該活性層に近い側に配されており、そのことにより上記目的が達成される。

【0018】本発明の半導体発光素子は、活性層と、該活性層の上下一方に設けられた光ガイド層とを有する半導体発光素子において、該光ガイド層が、不純物希少領域と不純物添加領域とを有し、該不純物希少領域が該活性層に近い側に配されており、そのことにより上記目的が達成される。

【0019】前記不純物希少領域と前記不純物添加領域との間に不純物中間濃度領域を有していてもよい。

【0020】前記活性層が量子井戸層からなっているてもよい。

【0021】前記光ガイド層の前記不純物添加領域における不純物がp型である場合、該不純物のキャリア濃度が $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1.2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であるのが好ましい。

【0022】前記光ガイド層の前記不純物添加領域における不純物がn型である場合、該不純物のキャリア濃度が $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であるのが好ましい。

【0023】前記不純物希少領域における不純物濃度は前記不純物添加領域における不純物濃度の1/5以下とすることができる。

【0024】前記不純物希少領域の厚みは3nm以上10nm以下であるのが好ましい。

【0025】前記不純物希少領域は、少なくともp型クラッド層又はp型光ガイド層に設けられていてもよい。

【0026】前記不純物希少領域のうち、p型クラッド層又はp型光ガイド層に設けたものの厚みが、n型クラッド層又はn型光ガイド層に設けたものの厚みよりも厚くされているのが好ましい。

【0027】前記不純物中間濃度領域の厚みは3nm以上10nm以下であるのが好ましい。

【0028】前記活性層が複数の量子井戸層と該複数の量子井戸層で挟まれたバリア層とからなる多重量子井戸層で構成され、前記不純物希少領域と前記不純物添加領域とを有する光ガイド層における少なくとも不純物添加領域の禁制帯幅が、該バリア層の禁制帯幅よりも小さく、かつ、該量子井戸層の禁制帯幅よりも大きくされていてもよい。

【0029】前記光ガイド層において、前記不純物添加

領域の禁制帯幅が前記不純物希少領域の禁制帯幅よりも小さくされていてもよい。

【0030】前記クラッド層又は前記光ガイド層はAlGaAs系材料、AlGaInP系材料又はInGaIn系材料からなってもよい。

【0031】本発明の半導体発光素子の製造方法は本発明の半導体発光素子を製造する方法であって、不純物添加層及び不純物無添加層を成長させ、結晶成長中の熱履歴により該不純物添加層から不純物無添加層へ不純物を拡散させて前記不純物中間濃度領域を形成し、そのことにより上記目的が達成される。

【0032】前記不純物無添加層のうち、p型クラッド層又はp型光ガイド層形成部に設けたものの厚みを、n型クラッド層又はn型光ガイド層形成部に設けたものの厚みよりも厚くするのが好ましい。

【0033】以下、本発明の作用について説明する。

【0034】本発明にあつては、活性層の上下に設けられたクラッド層の少なくとも一方が不純物希少領域と不純物添加領域とを有し、不純物添加領域よりも不純物濃度が低い不純物希少領域が活性層に近い側に配されているので、通電中に不純物添加領域から活性層に不純物が拡散するのを不純物希少領域で抑制することができる。

【0035】他の本発明にあつては、活性層の上下に設けられた光ガイド層の少なくとも一方が不純物添加領域を有するので、光ガイド層全体の抵抗を下げることができ、さらに、光ガイド層とクラッド層との間の拡散電位を低減することができるので、動作電圧を低減することができる。さらに、不純物添加領域よりも不純物濃度が低い不純物希少領域が活性層に近い側に配されているので、通電中に不純物添加領域から活性層に不純物が拡散するのを不純物希少領域で抑制して素子の信頼性を向上させることができる。

【0036】他の本発明にあつては、活性層の上下一方に設けられた光ガイド層が不純物添加領域を有するので、光ガイド層全体の抵抗を下げることができ、さらに、光ガイド層とクラッド層との間の拡散電位を低減することができるので、動作電圧を低減することができる。さらに、不純物添加領域よりも不純物濃度が低い不純物希少領域が活性層に近い側に配されているので、通電中に不純物添加領域から活性層に不純物が拡散するのを不純物希少領域で抑制して素子の信頼性を向上させることができる。

【0037】さらに、上記不純物希少領域と不純物添加領域との間に、不純物濃度が不純物添加領域よりも低く、不純物希少領域よりも高い不純物中間濃度領域を設けることにより、通電中に不純物添加領域から不純物希少領域に不純物が拡散するのを防ぐことができるので、素子の信頼性をより一層向上させることができる。

【0038】特に、活性層が量子井戸層からなる場合、通電中のわずかな不純物拡散によっても層構造が変化し

て特性劣化が生じ易いが、本発明によれば通電中の活性層への不純物拡散を抑制することができるので、非常に有効である。

【0039】上記光ガイド層の不純物添加領域における不純物がp型である場合、不純物のキャリア濃度を $4 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以上 $1.2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下に設定するのが好ましい。また、上記光ガイド層の不純物添加領域における不純物がn型である場合、不純物のキャリア濃度を $2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下に設定するのが好ましい。この範囲に設定することにより、動作電圧を有効に低減すると共に、不純物添加領域におけるキャリアの非発光再結合による特性劣化を有効に抑制することができる。尚、クラッド層の不純物添加領域における不純物濃度については、クラッド層として活性層へのキャリア閉じ込め機能を有する濃度であればよい。

【0040】上記不純物希少領域における不純物のキャリア濃度は、不純物添加領域における不純物のキャリア濃度の $1/5$ 以下であれば、通電中の活性層への不純物拡散を有効に抑制することができる。

【0041】上記不純物希少領域の厚みは3nm以上10nm以下であるのが好ましい。3nm未満では通電中に不純物が活性層に拡散して特性劣化を引き起こすおそれがあり、10nmを超える場合には電位障壁のために不純物添加領域から活性層へのキャリア注入が阻害されるので、動作電圧が高くなるおそれがある。尚、不純物添加領域の厚みについては、クラッド層の場合にはクラッド層として活性層へのキャリア閉じ込めに必要な厚みであればよく、光ガイド層の場合には光閉じ込めに必要な厚みであればよい。

【0042】上記不純物希少領域は、p型クラッド層又はp型光ガイド層側だけに設けてもよい。p型不純物はn型不純物よりも拡散係数が大きく、不純物が活性層に拡散して特性劣化が生じ易いからである。この場合、p型の不純物希少領域の厚さ制御を行うだけで良いので、素子設計が容易である。

【0043】又は上記不純物希少領域のうち、p型クラッド層又はp型光ガイド層に設けたものの厚みを、n型クラッド層又はn型光ガイド層に設けたものの厚みよりも厚くしてもよい。この場合、n型不純物よりも拡散係数が大きなp型不純物に対して、その拡散度合に応じて不純物希少領域の厚さを制御することができるので、素子設計に対する制御性を向上させることができる。

【0044】上記不純物中間濃度領域の厚みは3nm以上10nm以下であるのが好ましい。この範囲に設定すれば、通電中に不純物添加領域から不純物希少領域に不純物が拡散するのを有効に防ぐことができ、不純物添加領域から活性層へのキャリア注入を阻害することもない。

【0045】上記活性層が多重量子井戸層からなる場合、光ガイド層における少なくとも不純物添加領域の禁

制帯幅を、バリア層の禁制帯幅よりも小さく、かつ、量子井戸層の禁制帯幅よりも大きくしてもよい。一般に、Alを含む半導体層のAl混晶比と禁制帯幅とは比例関係にあり、不純物添加領域の禁制帯幅を低減することによりAl混晶比を小さくすることができるので、不純物添加領域から活性層への不純物拡散をさらに低減することができる。さらに、不純物添加領域から活性層への不純物拡散が低減されるので不純物希少領域の厚みを薄く設定することができ、動作電圧低減に対しても有効である。

【0046】ここで、不純物希少領域や不純物中間濃度領域を含む光ガイド層の全体について、その禁制帯幅をバリア層の禁制帯幅よりも小さく、かつ、量子井戸層の禁制帯幅よりも大きくしてもよいが、不純物添加領域の禁制帯幅を不純物希少領域の禁制帯幅よりも小さくすると、活性層へのキャリア閉じこめを不純物希少領域で行うことができる。従って、不純物添加領域のAl混晶比をより一層小さくして、不純物添加領域から活性層への不純物拡散をさらに低減することができる。さらに、不純物添加領域から活性層への不純物拡散を低減することができ、動作電圧低減に対しても有効である。

【0047】上記クラッド層又は光ガイド層はAlGaAs系材料、AlGaInP系材料又はInGaInP系材料等であってもよい。特に、AlGaInP系材料ではAlGaAs系材料に比べて不純物が拡散し易いので有効である。さらに、InGaInP系材料ではAlGaInP系材料に比べて成長温度が高く、不純物の拡散が生じ易いので有効である。

【0048】本発明にあっては、結晶成長中の熱履歴により不純物添加層から不純物無添加層へ不純物を拡散させて上記不純物中間濃度領域を形成するので、不純物添加領域と不純物中間濃度領域と不純物希少領域とを制御性良く簡潔な製造プロセスで作成可能である。このときの熱履歴の温度（結晶成長温度）は、例えば、AlGaAs系材料では600℃～800℃であり、AlGaInP系材料では500℃～700℃であり、InGaInP系材料では900℃～1100℃であるが、拡散を制御するために活性層の成長温度よりも約50℃～200℃程度低い温度で不純物中間濃度領域を形成してもよい。

【0049】上記不純物無添加層のうち、p型クラッド層又はp型光ガイド層形成部に設けたものの厚みを、n型クラッド層又はn型光ガイド層形成部に設けたものの厚みよりも厚くしてもよい。この場合、n型不純物よりも拡散係数が大きなp型不純物に対して、その拡散度合に応じて不純物無添加領域の厚さを制御することで、不純物希少領域の厚みを制御することができるので、素子設計に対する制御性を向上させることができる。

【0050】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態につい

て、図面を参照しながら説明する。

【0051】（実施形態1）本実施形態1では、リッジ型半導体レーザ素子に本発明を適用した例について説明する。

【0052】図1は実施形態1の半導体レーザ素子の断面図である。

【0053】この半導体レーザ素子は、n-GaAs基板101上にn-GaAsバッファ層102、n-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As第1クラッド層103、Al<sub>0.35</sub>Ga<sub>0.65</sub>As第1光ガイド層104、ノンドープ多重量子井戸活性層105、Al<sub>0.35</sub>Ga<sub>0.65</sub>As第2光ガイド層106、p-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As第2クラッド層107、p-GaAsエッチングストップ層108が積層形成されている。エッチングストップ層108の中央部上にはリッジストライプのp-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As第3クラッド層109及びp-GaAsキャップ層110が設けられている。このリッジストライプの両側を埋め込むようにエッチングストップ層108の中央部の両側上n-Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>As電流閉じ込め層111、n-GaAs電流阻止層112、p-GaAs平坦化層113が設けられている。その上にキャップ層110及び平坦化層113の上にわたってp-GaAsコンタクト層114が設けられている。p-GaAsコンタクト層114の上にはp型電極150が設けられ、基板101の半導体層成長面と反対側の面にはn型電極151が設けられている。

【0054】この半導体レーザ素子は、例えば以下のようにして作製することができる。

【0055】まず、n-GaAs基板101上に第1回目のMOCVD法（有機金属気相成長法）により、n-GaAsバッファ層102（層厚0.5μm、ドーパントSi、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）、n-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As第1クラッド層103（層厚1.5μm、ドーパントSi、キャリア濃度 $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）、Al<sub>0.35</sub>Ga<sub>0.65</sub>As第1光ガイド層104、ノンドープ多重量子井戸活性層105、Al<sub>0.35</sub>Ga<sub>0.65</sub>As第2光ガイド層106、p-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As第2クラッド層107（層厚0.25μm、ドーパントZn、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）、p-GaAsエッチングストップ層108（層厚0.003μm、ドーパントZn、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）、p-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As第3クラッド層109（層厚1.0μm、ドーパントZn、キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）及びp-GaAsキャップ層110（層厚0.7μm、ドーパントZn、キャリア濃度 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）を成長する。

【0056】ここで、多重量子井戸活性層105は、図2に示すように、3層のAl<sub>0.12</sub>Ga<sub>0.88</sub>As量子井戸層120（層厚0.008μm）と2層のAl<sub>0.35</sub>Ga<sub>0.65</sub>As量子障壁層（バリア層）121（層厚0.00

5  $\mu\text{m}$ ) とを多重量子井戸層 120 でバリア層 121 を挟むように成長させた。そして、第 1 光ガイド層 104 は、n-第 1 クラッド層 103 側から不純物添加層 (層厚 0.03  $\mu\text{m}$ 、ドーパント Si、キャリア濃度  $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ) と不純物非添加層 (層厚 0.02  $\mu\text{m}$ ) とを成長させた。さらに、第 2 光ガイド層 106 は、活性層 105 側から不純物非添加層 (層厚 0.02  $\mu\text{m}$ ) と不純物添加層 (層厚 0.03  $\mu\text{m}$ 、ドーパント Zn、キャリア濃度  $8 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ) とを成長させた。

【0057】次に、ストライプ状のレジストパターンをマスクとしてキャップ層 110 を凸状のストライプ (上面幅 2  $\mu\text{m}$ ) に加工する。この凸状ストライプのキャップ層 110 をマスクとして p-第 3 クラッド層 109 をリッジストライプ (底面幅 2.5  $\mu\text{m}$ ) に加工する。このとき、リッジストライプの両外側ではエッチングストップ層 108 でエッチングが停止するようになっている。エッチング終了後、レジストを除去する。

【0058】続いて、第 2 回目の MOCVD 法によりリッジストライプを埋め込むように n-Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>As 電流光閉じ込め層 111 (層厚 0.6  $\mu\text{m}$ 、ドーパント Si、キャリア濃度  $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ )、n-GaAs 電流阻止層 112 (層厚 0.3  $\mu\text{m}$ 、ドーパント Si、キャリア濃度  $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ )、p-GaAs 平坦化層 113 (層厚 0.3  $\mu\text{m}$ 、ドーパント Zn、キャリア濃度  $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ) を成長する。

【0059】その後、キャップ層 110 の直上に成長した不要層をエッチングにより除去してキャップ層 110 を 0.3  $\mu\text{m}$  の厚さに調整し、第 3 回目の MOCVD 法によりキャップ層 110 及び平坦化層 113 の上にわたって p-GaAs コンタクト層 114 (層厚 3  $\mu\text{m}$ 、ドーパント Zn、キャリア濃度  $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ) を成長する。

【0060】上記 MOCVD 成長中の熱履歴温度 (結晶成長温度) は 600°C ~ 800°C であり、これにより第 1 光ガイド層 104 及び第 2 光ガイド層 106 では不純物添加層から不純物非添加層への不純物拡散が起こり、活性層の近傍のバンドダイアグラムとキャリア濃度の分布は図 2 に示すようなものになる。

【0061】即ち、第 1 光ガイド層 104 は n-第 1 クラッド層 103 側から不純物添加領域 130 (層厚 0.03  $\mu\text{m}$ ) と不純物中間濃度領域 131 (層厚 0.01  $\mu\text{m}$ ) と不純物濃度が不純物添加領域 130 の 1/5 以下の濃度である不純物希少領域 132 (層厚 0.01  $\mu\text{m}$ ) とに分かれる。一方、第 2 光ガイド層 106 は p-第 2 クラッド層 107 側から不純物添加領域 140 (層厚 0.03  $\mu\text{m}$ ) と不純物中間濃度領域 141 (層厚 0.01  $\mu\text{m}$ ) と不純物濃度が不純物添加領域 140 の 1/5 以下の濃度である不純物希少領域 142 (層厚 0.01  $\mu\text{m}$ ) とに分かれる。従って、半導体層の結晶成長中の熱履歴によって不純物添加領域と不純物中間濃

度領域と不純物希少領域とが制御性良く簡潔なプロセスで作製される。

【0062】最後に、成長層及び基板 101 の外面上に各々 p 型電極 150 及び n 型電極 151 を形成する。ここで、半導体レーザ素子の共振器長は 375  $\mu\text{m}$  とし、光出射側の端面は Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の単層膜コーティングにより反射率を 10% とし、反対側の端面は Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と Si との多層膜コーティングにより反射率を 75% とする。

【0063】このようにして得られる本実施形態 1 の半導体レーザ素子について、室温で光出力 4 mW で動作させたときの素子特性を下記表 1 に示す。比較のために、光ガイド層の全域に不純物を添加しなかったこと以外は実施形態 1 と同様にして作製した比較例 1 の半導体レーザ素子、及び光ガイド層の全域に不純物を添加したこと以外は実施形態 1 と同様にして作製した比較例 2 の半導体レーザ素子についても、その素子特性を下記表 1 に示す。

【0064】

【表 1】

素子特性

	動作電流	動作電圧	素子抵抗
実施形態 1	20mA	1.80V	5オーム
比較例 1	20mA	2.10V	15オーム
比較例 2	25mA	1.80V	5オーム

【0065】この表 1 からわかるように、本実施形態 1 では動作電圧、動作電流及び素子抵抗を低減することができる。これに対して、光ガイド層の全域に不純物を添加しなかった比較例 1 の半導体レーザ素子は、本実施形態 1 の半導体レーザ素子と同様に動作電流は低減できるが、光ガイド層の抵抗が大きくなるので素子抵抗が増大し、さらにクラッド層と光ガイド層との間に電位障壁が生じるので動作電圧が増大する。また、光ガイド層の全域に不純物を添加した比較例 2 の半導体レーザ素子は、本実施形態 1 の半導体レーザ素子と同様に動作電圧及び素子抵抗は低減できるが、通電中の光ガイド層から活性層への不純物拡散によりレーザ特性が劣化し、動作電流が増大する。

【0066】図 3 に、第 1 光ガイド層 104 の不純物添加領域のキャリア濃度を  $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  に固定し、第 2 光ガイド層 106 の不純物添加領域のキャリア濃度を変化させたときの動作電圧の変化を示す。また、図 4 に、第 2 光ガイド層 106 の不純物添加領域のキャリア濃度を  $8 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  に固定し、第 1 光ガイド層 104 の不純物添加領域のキャリア濃度を変化させたときの動作電圧の変化を示す。

【0067】この図 3 及び図 4 からわかるように、不純物添加領域のキャリア濃度が増大すると共に動作電圧が低減している。

【0068】例えば、第 1 光ガイド層 104 のキャリア



濃度は、図4に示すように  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以上に設定すると動作電圧を 1.9 V 以下に低減できるので望ましい。但し、第1光ガイド層104のキャリア濃度が大きすぎるとn型不純物特有の非発光中心が生成し、第1光ガイド層104で発光効率が低下してレーザ特性の劣化を引き起こすので、第1光ガイド層104のキャリア濃度は  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以下に設定するのが望ましい。

【0069】一方、第2光ガイド層106のキャリア濃度は、図3に示すように  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以上に設定すると動作電圧を 1.9 V 以下に低減できるので望ましい。但し、第2光ガイド層106のキャリア濃度が大きすぎると第2光ガイド層106における電流拡がりが増大し、無効電流の増加による閾値電流の増大を引き起こすので、第2光ガイド層106のキャリア濃度は  $1.2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以下に設定するのが望ましい。

【0070】ここで、光ガイド層104、106の不純物希少領域の層厚があまり厚すぎると、電位障壁のために不純物添加領域から多重量子井戸活性層へのキャリア注入が阻害されるので、キャリアがこの電位障壁をトンネリングしてキャリア注入がスムーズに行われる程度の厚さ、例えば 10 nm 以下に設定するのが望ましい。但し、不純物希少領域の層厚が 3 nm 未満では通電中に不純物が活性層に拡散して特性劣化を引き起こす。よって、不純物希少領域の層厚を 3 nm 以上に設定するのが望ましい。この不純物希少領域における不純物のキャリア濃度は、不純物添加領域における不純物のキャリア濃度の  $1/5$  以下であれば、通電中の活性層への不純物拡散を有効に抑制することができる。

【0071】さらに、不純物添加領域と不純物希少領域との間に不純物拡散による不純物中間濃度領域を設けることにより、通電中の不純物添加領域から活性層への不純物拡散を不純物中間濃度領域及び不純物希少領域の両方の領域で抑制することができるので、特性劣化の防止に対してさらに効果がある。しかも、不純物中間濃度領域では電位障壁が連続的に変化するので電位障壁を緩和することができ、その結果、活性層へのキャリア注入をスムーズに行うことができるので、動作電圧をさらに低減することができる。この不純物中間濃度領域の厚みは 3 nm 以上 10 nm 以下であるのが好ましい。この範囲に設定すれば、通電中に不純物添加領域から不純物希少領域に不純物が拡散するのを有効に防ぐことができ、不純物添加領域から活性層へのキャリア注入を阻害することもない。

【0072】（実施形態2）本実施形態2では、光ガイド層の禁制帯幅をバリア層の禁制帯幅よりも小さく、かつ、量子井戸層の禁制帯幅よりも大きくした例について説明する。

【0073】図5は実施形態2の半導体レーザ素子の断面図である。

【0074】この半導体レーザ素子は、n-GaAs基

板201上にn-Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Pバッファ層202、n-(Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P第1クラッド層203、(Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P第1光ガイド層204、ノンドープ多重量子井戸活性層205、(Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P第2光ガイド層206及びリッジストライプ209部分と平坦部とを有するp-(Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P第2クラッド層207が積層形成されている。p-第2クラッド層207のリッジストライプ209部分の上にはp-Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Pキャップ層208が形成されている。このリッジストライプ209の両側を埋め込むようにp-第2クラッド層207の平坦部上にn-GaAs電流閉じこめ層210が設けられている。その上にキャップ層208及び電流閉じこめ層210の上にわたってp型電極212が設けられ、基板201の半導体層成長面と反対側の面にはn型電極211が設けられている。

【0075】この半導体レーザ素子は、例えば以下のようにして作製することができる。

【0076】まず、n-GaAs基板201上にMOCVD法により、n-Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Pバッファ層202、n-(Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P第1クラッド層203（層厚1.5 μm）、(Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P第2光ガイド層204、ノンドープ多重量子井戸活性層205、(Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P第2光ガイド層206、p-(Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P第2クラッド層207（層厚1.5 μm）及びp-Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Pキャップ層208（層厚0.3 μm）を成長する。

【0077】ここで、多重量子井戸活性層205は、図6に示すように、3層のGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P量子井戸層220（層厚0.008 μm）と2層の(Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Pバリア層221（層厚0.005 μm）とを多重量子井戸層220でバリア層221を挟むように成長させた。そして、第1光ガイド層204は、n-第1クラッド層203側から不純物添加層（層厚0.015 μm、ドーパントSi、キャリア濃度  $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）と不純物非添加層（層厚0.02 μm）とを成長させた。さらに、第2光ガイド層206は、活性層205側から不純物非添加層（層厚0.02 μm）と不純物添加層（層厚0.015 μm、ドーパントZn、キャリア濃度  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）とを成長させた。

【0078】上記MOCVD成長中の熱履歴温度（結晶成長温度）は500℃～700℃であり、これにより第1光ガイド層204及び第2光ガイド層206では不純物添加層から不純物非添加層への不純物拡散が起こり、活性層の近傍のバンドダイアグラムは図6に示すようなものになる。

【0079】即ち、第1光ガイド層204はn-第1クラッド層203側から不純物添加領域230（層厚0.01 μm）と不純物中間濃度領域231（層厚0.01

5  $\mu\text{m}$ ) と不純物希少領域 2 3 2 (層厚 0. 0 1  $\mu\text{m}$ ) とに分かれる。一方、第 2 光ガイド層 2 0 6 は p-第 2 クラッド層 2 0 7 側から不純物添加領域 2 4 0 (層厚 0. 0 1  $\mu\text{m}$ ) と不純物中間濃度領域 2 4 1 (層厚 0. 0 1 5  $\mu\text{m}$ ) と不純物濃度が不純物希少領域 2 4 2 (層厚 0. 0 1  $\mu\text{m}$ ) とに分かれる。従って、半導体層の結晶成長中の熱履歴によって不純物添加領域と不純物中間濃度領域と不純物希少領域とが制御性良く簡潔なプロセスで作製される。

【0 0 8 0】次に、p-第 2 クラッド層 2 0 7 及びキャップ層 2 0 8 をエッチングし、p-第 2 クラッド層 2 0 7 の平坦部の残し厚さが 0. 3  $\mu\text{m}$  となるようにエッチングを停止させて幅 5  $\mu\text{m}$  のリッジストライプ 2 0 9 を形成する。

【0 0 8 1】続いて、MOCVD 法によりリッジストライプ 2 0 9 の両外側を埋め込むように n-GaAs 電流光閉じ込め層 2 1 0 (層厚 1. 2  $\mu\text{m}$ ) を成長する。

【0 0 8 2】最後に、成長層及び基板 2 0 1 の外面上に各々 p 型電極 2 1 2 及び n 型電極 2 1 1 を形成する。ここで、半導体レーザ素子の共振器長はへき開法により 5 0 0  $\mu\text{m}$  とし、共振器の光出射側の端面は反射率を 5 0 % とし、反対側の端面は反射率を 8 5 % とする。

【0 0 8 3】このようにして得られる本実施形態 2 の半導体レーザ素子は、図 6 に示したように、第 1 光ガイド層 2 0 4 及び第 2 光ガイド層 2 0 6 の禁制帯幅が量子井戸層 2 2 0 の禁制帯幅より大きく、バリア層 2 2 1 の禁制帯幅より小さく設定されている。一般に、Al を含む半導体層の Al 混晶比と禁制帯幅は比例の関係にあるので、第 1 光ガイド層 2 0 4 及び第 2 光ガイド層 2 0 6 の Al 混晶比 ( $x=0. 3$ ) を多重量子井戸活性層 2 0 5 の量子井戸層 2 2 0 の Al 混晶比 ( $x=0$ ) より大きく、バリア層 2 2 1 の Al 混晶比 ( $x=0. 5$ ) より小さく設定する。これにより、光ガイド層の不純物添加領域の Al 混晶比を比較的小さく設定することができる。よって、不純物添加領域から活性層への不純物拡散をより一層低減することができ、特性劣化の防止にさらに効果がある。

【0 0 8 4】さらに、不純物添加領域から活性層への不純物拡散をより一層低減することができるので、不純物希少領域の層厚を薄くしても、通電中の不純物添加領域から活性層への不純物拡散を抑制することができる。従って、不純物希少領域の層厚を薄くして光ガイド層から活性層への電流注入を円滑にすることができるので、動作電圧を低減することができる。

【0 0 8 5】さらに、化合物半導体層の禁制帯幅と屈折率とは一般に反比例の関係にあるので、光ガイド層全体の屈折率が高くなって光の閉じ込めが増加し、閾値電流の低減を図ることができる。

【0 0 8 6】本実施形態 2 の半導体レーザ素子に対して n 型電極 2 1 1 と p 型電極 2 1 2 との間に順方向電圧を

印加した場合、発振波長 0. 6 5  $\mu\text{m}$ 、閾値電流 3 0 m A、電流-光出力特性のスロープ効率 0. 6 W/A 及び光出力 3 mW で動作させたときの素子特性は、動作電流 3 5 m A、動作電圧 2 V である。これに対して、光ガイド層の全域に不純物を添加しなかった場合には動作電圧が 2. 3 V に増大し、光ガイド層の全域に不純物を添加した場合には、動作電圧は 2 V であるが通電中の光ガイド層から活性層への不純物拡散により動作電流が 5 0 m A まで増大する。このように、本実施形態 2 では動作電圧を低減すると共に動作電流増大による特性劣化を防止することができる。

【0 0 8 7】(実施形態 3) 本実施形態 3 では、光ガイド層の不純物添加領域の禁制帯幅をバリア層の禁制帯幅よりも小さく、かつ、量子井戸層の禁制帯幅よりも大きくし、不純物希少領域の禁制帯幅を不純物添加領域の禁制帯幅よりも大きくした例について説明する。

【0 0 8 8】この半導体レーザ素子において、半導体レーザ素子の構造は図 5 に示した実施形態 2 と同様である。

【0 0 8 9】そして、本実施形態 3 でも実施形態 2 と同様に、結晶成長中の熱履歴により第 1 光ガイド層 2 0 4 及び第 2 光ガイド層 2 0 6 では不純物添加層から不純物非添加層への不純物拡散が起こり、活性層の近傍のバンドダイアグラムは図 7 に示すようなものになる。

【0 0 9 0】即ち、第 1 光ガイド層 2 0 4 は n-第 1 クラッド層 2 0 3 側から不純物添加領域 2 5 0 (層厚 0. 0 1  $\mu\text{m}$ ) と不純物中間濃度領域 2 5 1 (層厚 0. 0 1 5  $\mu\text{m}$ ) と不純物希少領域 2 5 2 (層厚 0. 0 1  $\mu\text{m}$ ) とに分かれる。一方、第 2 光ガイド層 2 0 6 は p-第 2 クラッド層 2 0 7 側から不純物添加領域 2 6 0 (層厚 0. 0 1  $\mu\text{m}$ ) と不純物中間濃度領域 2 6 1 (層厚 0. 0 1 5  $\mu\text{m}$ ) と不純物濃度が不純物希少領域 2 6 2 (層厚 0. 0 1  $\mu\text{m}$ ) とに分かれる。このように半導体層の結晶成長中の熱履歴によって不純物添加領域と不純物中間濃度領域と不純物希少領域とが制御性良く簡潔なプロセスで作製される。

【0 0 9 1】ここで、本実施形態 3 では、第 1 光ガイド層 2 0 4 の不純物添加領域 2 5 0 及び第 2 光ガイド層 2 0 6 の不純物添加領域 2 6 0 の Al 混晶比を 0. 2 又は 0. 3 とし、多重量子井戸活性層 2 0 5 の量子井戸層 2 2 0 の Al 混晶比 ( $x=0$ ) より大きく、バリア層 2 2 1 の Al 混晶比 ( $x=0. 5$ ) より小さく設定する。つまり、図 7 に示したように第 1 光ガイド層 2 0 4 の不純物添加領域 2 5 0 及び第 2 光ガイド層 2 0 6 の不純物添加領域 2 6 0 の禁制帯幅を量子井戸層 2 2 0 の禁制帯幅より大きく、バリア層 2 2 1 の禁制帯幅より小さく設定する。一方、第 1 光ガイド層 2 0 4 の不純物希少領域 2 5 2 及び第 2 光ガイド層 2 0 6 の不純物希少領域 2 6 2 の Al 混晶比 ( $x=0. 5$ ) は第 1 光ガイド層 2 0 4 の不純物添加領域 2 5 0 及び第 2 光ガイド層 2 0 6 の不純

物添加領域 260 の Al 混晶比 ( $x=0.2$  又は  $0.3$ ) よりも大きく設定する。つまり、図 7 に示したように第 1 光ガイド層 204 の不純物希少領域 252 及び第 2 光ガイド層 206 の不純物希少領域 262 の禁制帯幅を第 1 光ガイド層 204 の不純物添加領域 250 及び第 2 光ガイド層 206 の不純物添加領域 260 の禁制帯幅より大きく設定する。これにより、活性層へのキャリアの閉じ込めを不純物希少領域で行って、光ガイド層の不純物添加領域の Al 混晶比を実施形態 2 よりもさらに小さく設定することができる。よって、不純物添加領域から活性層への不純物拡散を実施形態 2 よりもさらに低減することができ、特性劣化の防止にさらに効果がある。

【0092】ここで、少なくとも不純物添加領域 250、260 の禁制帯幅が量子井戸層 220 の禁制帯幅より大きく、バリア層 221 の禁制帯幅より小さく設定されていればよく、不純物中間濃度領域 251、261 の禁制帯幅については、図 7 に示すように不純物希少領域 252、262 と同じ禁制帯幅にしてもよく、図 8 に示すように不純物添加領域 250、260 と同じ禁制帯幅にしてもよい。或いは、不純物希少領域と不純物添加領域の中間の禁制帯幅にしてもよい。

【0093】尚、上記実施形態 2 及び 3 で示した AlGaInP 系材料では AlGaAs 系材料に比べて不純物が拡散しやすい材料であるので、不純物添加領域から活性層への不純物拡散を低減することができる本発明を適用することは非常に有効である。

【0094】(実施形態 4) 本実施形態 4 では発光ダイオード素子に本発明を適用した例について説明する。

【0095】図 9 は実施形態 4 の半導体レーザ素子の断面図である。

【0096】この半導体レーザ素子は、サファイア基板 301 上に GaN バッファ層 302 及び n-GaN 第 1 クラッド層 303、ノンドープ単一量子井戸 (SQW: Single Quantum Well) 活性層 305、Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N 第 2 クラッド層 305 及び p-GaN コンタクト層 306 が積層形成されている。n-第 1 クラッド層 303、活性層 304、第 2 クラッド層 305 及びコンタクト層 306 は n-第 1 クラッド層 303 を一部露出させたメサストライプ 313 に形成されている。そして、n-第 1 クラッド層 303 の露出部上には n 型電極 320 が形成され、コンタクト層 306 上には p 型電極 321 が形成されている。

【0097】この半導体レーザ素子は、例えば以下のようにして作製することができる。

【0098】まず、サファイア基板 301 上に MOCVD 法により GaN バッファ層 302 (層厚  $0.05\mu\text{m}$ )、n-GaN 第 1 クラッド層 303 (層厚  $3\mu\text{m}$ 、ドープバント Si、キャリア濃度  $5 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ )、ノンドープ単一量子井戸活性層 304、Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N 第 2 クラッド層 305 及び p-GaN コンタクト層 30

6 (層厚  $0.2\mu\text{m}$ 、ドープバント Mg、キャリア濃度  $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ) を成長する。

【0099】ここで、単一量子井戸活性層 305 は、単層の Ga<sub>0.2</sub>In<sub>0.8</sub>P 量子井戸層 (層厚  $0.003\mu\text{m}$ ) を成長させた。そして、第 2 クラッド層 305 は、活性層 304 側から不純物非添加層 (層厚  $0.03\mu\text{m}$ ) と不純物添加層 (層厚  $0.07\mu\text{m}$ 、ドープバント Mg、キャリア濃度  $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ) とを成長させた。

【0100】上記 MOCVD 成長中の熱履歴温度 (結晶成長温度) は  $900^\circ\text{C} \sim 1100^\circ\text{C}$  であり、これにより第 2 クラッド層 305 では不純物添加層から不純物非添加層への不純物拡散が起こり、活性層 304 側から不純物希少領域 310 (層厚  $0.01\mu\text{m}$ ) と不純物中間濃度領域 311 (層厚  $0.04\mu\text{m}$ ) と不純物添加領域 312 (層厚  $0.05\mu\text{m}$ ) とに分かれる。従って、半導体層の結晶成長中の熱履歴によって不純物添加領域と不純物中間濃度領域と不純物希少領域とが制御性良く簡潔なプロセスで作製される。

【0101】その後、表面に円形状のレジストマスクを形成してドライエッチングによりメサストライプ 313 を形成し、n-第 1 クラッド層 303 の露出部上及びコンタクト層 306 上に各々 n 型電極 320 及び p 型電極 321 を形成する。

【0102】このようにして得られる本実施形態 4 の発光ダイオード素子は、不純物希少領域 310 が p 型クラッド層側に設けられている。p 型不純物の方が n 型不純物よりも拡散係数が大きいため、p 型クラッド層側の不純物 (Mg) の活性層への拡散を不純物希少領域で制御することにより、動作電圧の低減と特性劣化防止とを図ることができる。さらに、この場合、p 型クラッド層側の不純物希少領域の厚さを制御するだけで特性の最適化を図ることができるので、設計が容易であるという利点を有する。

【0103】本実施形態 4 の発光ダイオード素子に対して n 型電極 320 と p 型電極 321 との間に順方向電圧を印加した場合、発光波長  $0.45\mu\text{m}$ 、動作電流  $50\text{mA}$ 、動作電圧  $4.5\text{V}$  が得られた。しかも、通電中の第 2 クラッド層から活性層への不純物拡散を抑制できるので、素子特性の劣化を防止することができる。これに対して、第 2 クラッド層全域に不純物を添加した場合には、動作電圧は  $4.5\text{V}$  であるが、通電中に特性劣化が生じる。このように、本実施形態 4 では動作電圧を増大することなく特性劣化を防止することができる。

【0104】なお、本実施形態に示した InGaInP 系材料では、AlGaAs 系材料や AlGaInP 系材料の成長温度  $600^\circ\text{C} \sim 700^\circ\text{C}$  に比べて成長温度が  $100^\circ\text{C} \pm 100^\circ\text{C}$  と高いために不純物拡散の度合いが大きい。よって、クラッド層から活性層への不純物拡散を低減することができる本発明を適用することは非常に有効である。

【0105】（実施形態5）本実施形態5では、p型クラッド層及びn型クラッド層の活性層に隣接する側に不純物希少領域を設けた例について説明する。

【0106】図10は実施形態5の半導体レーザ素子の断面図である。

【0107】この半導体レーザ素子は、サファイア基板401上にGa<sub>0.5</sub>Nバッファ層402及びGa<sub>0.5</sub>N第1クラッド層403、ノンドープ単一量子井戸活性層404、Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N第2クラッド層405及びp-Ga<sub>0.5</sub>Nコンタクト層406が積層形成されている。n-第1クラッド層403、活性層404、第2クラッド層405及びコンタクト層406は第1クラッド層403を一部露出させたメサストライプ413に形成されている。そして、第1クラッド層403の露出部上にはn型電極420が形成され、コンタクト層406上にはp型電極421が形成されている。

【0108】この半導体レーザ素子は、例えば以下のようにして作製することができる。

【0109】まず、サファイア基板401上にMOCVD法によりGa<sub>0.5</sub>Nバッファ層402（層厚0.05μm）、Ga<sub>0.5</sub>N第1クラッド層403、ノンドープ単一量子井戸活性層404、Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N第2クラッド層405及びp-Ga<sub>0.5</sub>Nコンタクト層406（層厚0.2μm、ドーパントMg、キャリア濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）を成長する。

【0110】ここで、単一量子井戸活性層405は、単層のGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P量子井戸層（層厚0.003μm）を成長させた。そして、第1クラッド層403は、活性層404側から不純物非添加層（層厚0.03μm）と不純物添加層（層厚2.97μm、ドーパントSi、キャリア濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）とを成長させた。そして、第2クラッド層405は、活性層404側から不純物非添加層（層厚0.05μm）と不純物添加層（層厚0.05μm、ドーパントMg、キャリア濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）とを成長させた。

【0111】上記MOCVD成長中の熱履歴温度（結晶成長温度）は900℃～1100℃であり、これにより第1クラッド層403では不純物添加層から不純物非添加層への不純物拡散が起こり、活性層404側から不純物希少領域410（層厚0.01μm）と不純物中間濃度領域411（層厚0.02μm）と不純物添加領域412（層厚2.97μm）とに分かれる。一方、第2クラッド層405では不純物添加層から不純物非添加層への不純物拡散が起こり、活性層404側から不純物希少領域413（層厚0.02μm）と不純物中間濃度領域414（層厚0.04μm）と不純物添加領域415（層厚0.04μm）とに分かれる。従って、半導体層の結晶成長中の熱履歴によって不純物添加領域と不純物中間濃度領域と不純物希少領域とが制御性良く簡潔なプロセスで作製される。

【0112】その後、エッチングを行って第1クラッド層303を一部露出させ、その露出部上及びコンタクト層406上に各々n型電極420及びp型電極421を形成する。

【0113】このように、本実施形態5の発光ダイオード素子では、不純物非添加層の層厚をp型クラッド層側でn型クラッド層側よりも厚くしており、p型不純物の方がn型不純物よりも拡散係数が大きいので、不純物希少領域の値を所望の厚みに調整することができる。これにより、拡散係数に応じて不純物希少領域の厚さを調整可能であるので、低動作電圧と通電中の特性劣化防止を実現するための設計の自由度が向上するという利点を有する。

【0114】本実施形態5の発光ダイオード素子に対してn型電極420とp型電極421との間に順方向電圧を印加した場合、発光波長0.45μm、動作電流50mA、動作電圧4.5Vが得られた。

【0115】なお、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、量子井戸活性層の構成（量子井戸数、混晶比や層厚）や各層の層厚やAl混晶比、ドーパント種やキャリア濃度を上述とは異なるものとした半導体発光素子についても本発明は適用可能である。

【0116】成長法については、MOCVD法に限られず、MBE（分子線エピタキシー）法、LPE（液相エピタキシー）法、MOMBE法、ALE（原子線エピタキシー）法等を用いてもよい。また、不純物中間濃度領域は不純物添加領域から不純物非添加領域への不純物拡散により形成したが、別に半導体層の成長を行ってもよい。また、拡散を制御するために、不純物中間濃度領域の成長温度を活性層の成長温度に比べて約50℃～200℃程度低くしてもよい。

【0117】さらに、上述した以外の他の材料系を用いた場合についても本発明は適用可能である。

【0118】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明による場合には、クラッド層又は光ガイド層に設けられた不純物希少領域により通電中に不純物添加領域から活性層へ不純物が拡散するのを抑制することができるので、動作電流の増大を抑制して素子特性の劣化を防ぎ、信頼性の高い半導体発光素子を得ることができる。それと共に、不純物添加領域により光ガイド層全体の抵抗を下げることができ、さらに、光ガイド層とクラッド層との間の拡散電位を低減することができるので、動作電圧を低減することができる。

【0119】本発明の請求項4による場合には、上記不純物希少領域と不純物添加領域との間に設けられた不純物中間濃度領域により、通電中に不純物添加領域から不純物希少領域に不純物が拡散するのを防いで、素子の信頼性をより一層向上させることができる。

【0120】特に、本発明の請求項5による場合には、

活性層が量子井戸層からなり、通電中のわずかな不純物拡散によっても層構造が変化して特性劣化が生じ易いの  
で、素子の信頼性を大幅に向上させることが可能である。

【0121】本発明の請求項6及び請求項7による場合には、上記光ガイド層のp型及びn型の不純物添加領域における不純物濃度を各々所定の範囲に設定することにより、動作電圧を有効に低減すると共に、不純物添加領域におけるキャリアの非発光再結合による特性劣化を有効に抑制することができる。

【0122】本発明の請求項8による場合には、上記不純物希少領域における不純物のキャリア濃度を不純物添加領域における不純物のキャリア濃度の1/5以下にすることにより、通電中の活性層への不純物拡散を有効に抑制することができる。

【0123】本発明の請求項9による場合には、上記不純物希少領域の厚みを3nm以上10nm以下にすることにより、特性劣化を有効に抑制すると共に動作電圧を有効に低減することができる。

【0124】本発明の請求項10による場合には、上記不純物希少領域を少なくともp型クラッド層又はp型光ガイド層側に設けることにより、素子設計を容易にして製造の歩留りを向上させることができる。

【0125】本発明の請求項11による場合には、上記不純物希少領域のうち、p型クラッド層又はp型光ガイド層に設けたものの厚みを、n型クラッド層又はn型光ガイド層に設けたものの厚みよりも厚くすることにより、素子設計に対する制御性を向上させて製造歩留りを向上させることができる。

【0126】本発明の請求項12による場合には、上記不純物中間濃度領域の厚みを3nm以上10nm以下に設定することにより、通電中に不純物添加領域から不純物希少領域に不純物が拡散するのを有効に防いで素子の信頼性を向上させることができ、また、不純物添加領域から活性層へのキャリア注入を阻害することもないので動作電圧を低減することができる。

【0127】本発明の請求項13による場合には、上記活性層が多重量子井戸層からなる場合、少なくとも上記不純物添加領域の禁制帯幅を、バリア層の禁制帯幅よりも小さく、かつ、量子井戸層の禁制帯幅よりも大きくすることにより、Al混晶比を小さくして不純物添加領域から活性層への不純物拡散をさらに低減することができる。この場合、不純物希少領域の厚みを薄く設定することができるので、動作電圧についても充分低減することができる。

【0128】本発明の請求項14による場合には、不純物添加領域の禁制帯幅を不純物希少領域の禁制帯幅よりも小さくすることにより、不純物添加領域のAl混晶比をより一層小さくすることができるので、素子の信頼性をさらに向上させることができる。

【0129】本発明の請求項15による場合には、特に不純物拡散が起こり易いAlGaInP系材料又はInGaInP系材料においても不純物の拡散を防いで素子の信頼性を向上させることができる。

【0130】本発明の請求項16による場合には、結晶成長中の熱履歴により不純物添加層から不純物無添加層へ不純物を拡散させて不純物中間濃度領域を形成するので、不純物添加領域と不純物中間濃度領域と不純物希少領域とを制御性良く簡潔な製造プロセスで作製することができる。従って、素子の信頼性が高く、動作電圧が低い半導体発光素子を低コストで提供することが可能となる。

【0131】本発明の請求項17による場合には、上記不純物無添加層のうち、p型クラッド層又はp型光ガイド層形成部に設けたものの厚みを、n型クラッド層又はn型光ガイド層形成部に設けたものの厚みよりも厚くすることにより、不純物希少領域の厚みを制御性よく所望の厚みにすることができる。よって、素子設計に対する制御性を向上させてさらに歩留りを向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施形態1の半導体レーザ素子の構成を示す断面図である。

【図2】実施形態1の半導体レーザ素子における活性層近傍のバンドダイヤグラムとキャリア濃度の分布を示す図である。

【図3】実施形態1の半導体レーザ素子における第2光ガイド層の不純物添加領域のキャリア濃度と動作電圧との関係を示すグラフである。

【図4】実施形態1の半導体レーザ素子における第1光ガイド層の不純物添加領域のキャリア濃度と動作電圧との関係を示すグラフである。

【図5】実施形態2の半導体レーザ素子の構成を示す断面図である。

【図6】実施形態2の半導体レーザ素子における活性層近傍のバンドダイヤグラムを示す図である。

【図7】実施形態3の半導体レーザ素子における活性層近傍のバンドダイヤグラムを示す図である。

【図8】実施形態3の他の半導体レーザ素子における活性層近傍のバンドダイヤグラムを示す図である。

【図9】実施形態4の発光ダイオード素子の構成を示す断面図である。

【図10】実施形態5の発光ダイオード素子の構成を示す断面図である。

【図11】従来の半導体レーザ素子における活性層近傍のバンドダイヤグラムを示す図である。

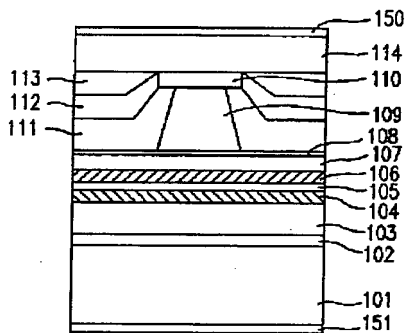
【符号の説明】

101、201、301、401 基板  
102、202、302、402 バッファ層  
103、203、303、403 第1クラッド層

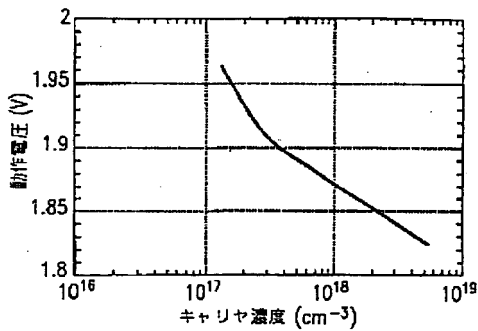
21

104、204 第1光ガイド層  
 105、205、304、404 量子井戸活性層  
 106、206 第2光ガイド層  
 107、207、305、405 第2クラッド層  
 108 エッチングストップ層  
 109 第3クラッド層  
 110、208 キャップ層  
 111、210 電流光閉じ込め層  
 112 電流阻止層  
 113 平坦化層  
 114、306、406 コンタクト層

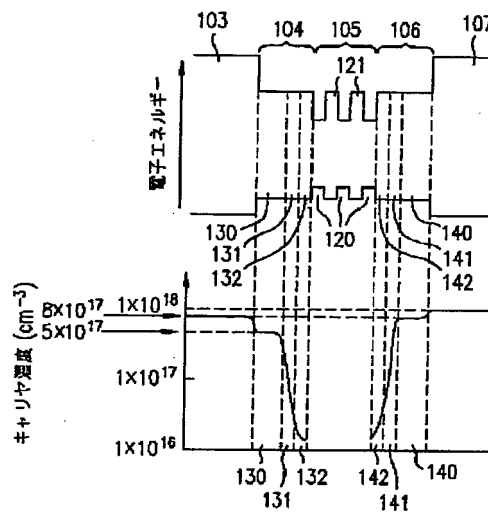
【図1】



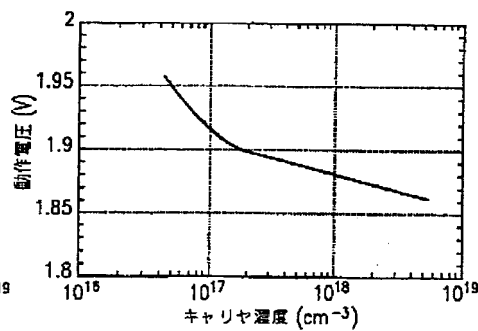
【図3】



【図2】



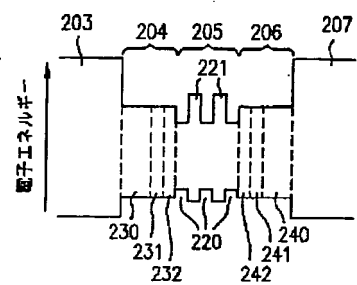
【図4】



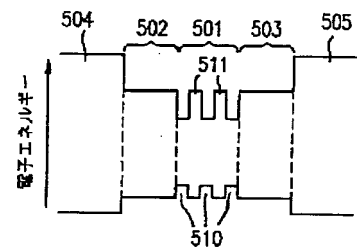
22

150、212、321、421 p型電極  
 151、211、320、420 n型電極  
 120、220 量子井戸層  
 121、221 バリヤ層  
 130、140、230、240、250、260、3  
 12、412、415 不純物添加領域  
 131、141、231、241、251、261、3  
 11、411、414 不純物中間濃度領域  
 132、142、232、242、252、262、3  
 10 10、410、413 不純物希少領域

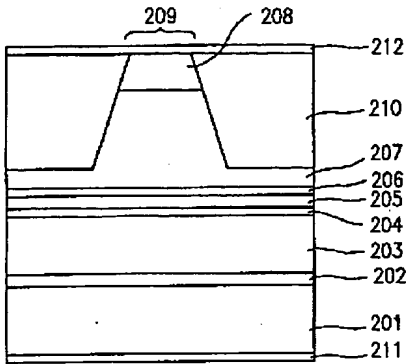
【図6】



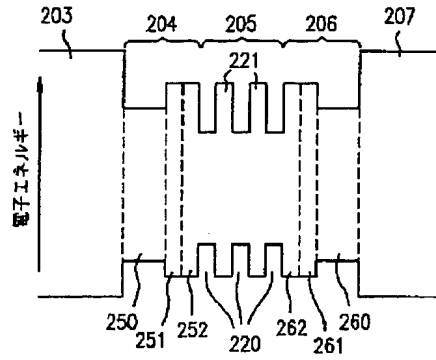
【図11】



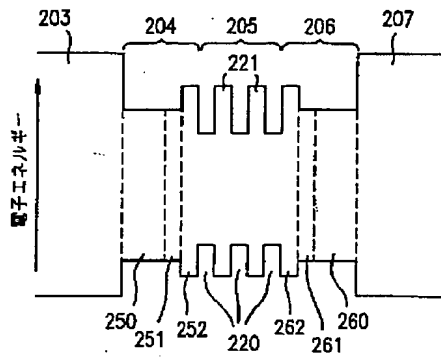
【図 5】



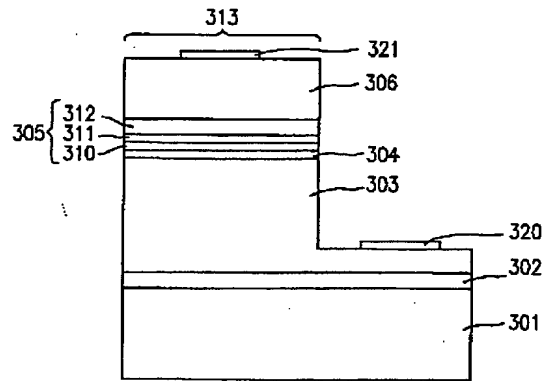
【図 7】



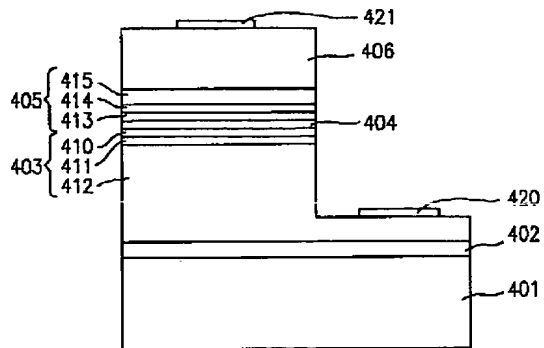
【図 8】



【図 9】



【図 10】



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**